

三峡库区(重庆段)土地覆被质变与量变的地貌分异特征^{*}

戴 鹏^{1,2}, 肖作林^{1,2}, 刘 睿^{1,2,3}, 周永伟^{1,2}

(1. 重庆师范大学 GIS 应用研究重庆市高校重点实验室; 2. 重庆师范大学 地理与旅游学院, 重庆 401331;

3. 重庆市综合经济研究院, 重庆 401147)

摘要:【目的】以三峡库区(重庆段)为研究区,分析区域 2000—2020 年土地覆被质变与量变,探明山地复杂人地关系背景下土地覆被随地貌的分异特征及演变规律,并分析土地覆被变化的影响因素,以期为山地区域国土空间高效集约利用和区域生态系统的管理提供理论与数据参考。【方法】基于 5 期土地覆被类型数据与植被指数数据,利用土地利用转移矩阵、土地覆被变化度等方法,通过绘制分区统计和交互制表定量得到 2000—2020 年间土地覆被质变与量变的地貌分异特征。【结果】1) 研究区超过 17.3% 的国土空间发生过质变,同期植被指数的量变值达 0.14,增长率为 22.96%;2) 质变存在明显的垂直差异性,质变强度随海拔的升高而降低。量变在平原丘陵地貌主要受到质变方式影响,而山地地貌的量变规律随着海拔的增高而减弱,与质变方式呈负相关关系;3) 研究区土地覆被质变程度与三峡工程的建设过程相对应,在后三峡工程时期,为配合相关生态政策和战略目标,研究区土地覆被质变加剧但其植被覆盖率仍保持在较高水平。【结论】三峡库区(重庆段)土地覆被在两个维度均发生了明显变化,地貌对两种维度的变化影响存在明显差异。人类的社会经济活动以及政策制定极大地影响了土地覆被变化方向及程度。

关键词: 三峡库区;重庆土地覆被;地貌分异规律;质变;量变

中图分类号: X144;P967

文献标志码: A

文章编号: 1672-6693(2022)06-0052-13

土地覆被变化是人与自然共同作用于地表环境的综合结果^[1],是土地变化学研究的核心与热点^[2]。事实上,土地覆被变化包含多种形式,既表现为地区不同覆被类型间的转换也表现为同种覆被类型内部的变化,即土地覆被的质变与量变,这两种变化同时存在且相互影响^[3]。国土作为生态文明建设的空间载体,在经济、生态、社会等方面占据重要地位^[4-5],完善空间治理,形成国土开发有序的空间发展格局已经成为中国高质量发展的重要要求。然而,质变与量变同时影响着国土空间的开发。因此,从质变与量变两个维度出发全面研究土地覆被变化情况,对于国土空间集约高效利用,推动区域高质量发展具有重大意义^[6]。

三峡库区(重庆段)集大城市、大农村、大库区和大山区于一体^[7],地跨秦巴山区和武陵山区两大连片特困区,是长江经济带重要的生态屏障区和脆弱区,也是长江上游生态屏障的最后一道关口。三峡库区人类活动强度大,人地关系复杂^[8],耕地坡陡土薄,社会经济相对落后,存在大量向坡地和林地要土地的现象;区域土地覆被在质变与量变两个维度均发生了明显变化,已经成为三峡库区生态环境研究的重点之一。学者们面向库区土地覆被质变开展了大量研究,如库区农田面积缩减明显,林地、建筑用地、水域面积明显增加,其中最主要的质变方式是耕地转换为建筑用地^[9-10]。同时,基于归一化植被指数(NDVI)变化的研究探明了库区植被覆被率呈向好趋势^[11-12]。上述研究分别回答了三峡库区土地覆被在两个维度上如何变化,然而两者之间是割裂的,面向两者交互关系的研究仍有待深入。随着三峡库区社会经济的高速发展,库区土地覆被变化发展过程趋向复杂,研究表明自然与社会两大系统深刻地影响它的发展方向和变化程度^[13]。其中社会经济发展是三峡库区土地覆被变化的主要驱动力^[14-15],然而三峡工程建设、库区移民等特殊的自然与人文过程在多个方面影响与制约着库区人类社会活动,从而进一步影响区域土地覆被的变化过程^[16]。在气温、降水等气候因子对三峡库区土地覆被变化影响不大的背景下^[17],地形、地貌要素已经成为库区制约人类活动的主导因素^[18],进而影响库区土地覆被质变与量变。学者们开始探讨坡度、坡向、高程等主要地形因子对土地覆被变化的影响。地貌单元作为地球表层

* 收稿日期:2021-09-06 修回日期:2022-05-04 网络出版时间:2022-12-08 16:37

资助项目:国家自然科学基金(No. 41801063);重庆市自然科学基金面上项目(No. cstc2020jcyj-msxmX0521)

第一作者简介:戴鹏,男,研究方向为资源环境遥感,E-mail: CQ_daipeng@163.com;通信作者:刘睿,男,教授,博士,E-mail: liur@cqu.edu.cn

网络出版地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail//50.1165.N.20221207.1714.011.html>

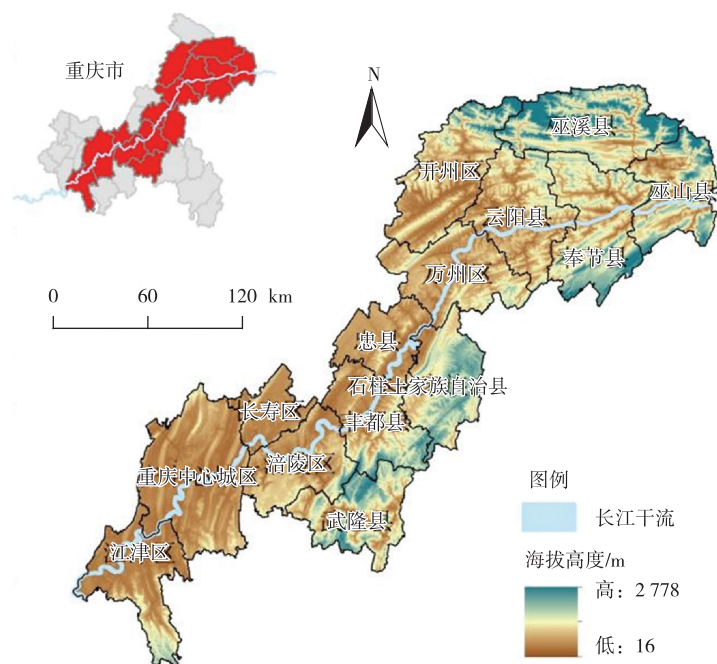
人类活动的基本空间^[19],对土地覆被的影响更加剧烈^[20]。三峡库区多山多峡谷,地貌对人类活动具有更为明显的约束作用,然而该作用对土地覆被量变与质变的影响过程与大小仍然有待探明。

基于上述背景,本文以人类活动复杂、土地利用/覆被质变与量变强烈的三峡库区(重庆段)为研究区,基于时间序列土地覆被数据与植被指数数据,研究 2000—2020 年间土地覆被质变与量变两个维度变化特征,主要创新点在于融合了土地覆被变化质变与量变过程,探明了山地复杂人地关系背景下土地覆被变化随地貌的分异特征及演变规律,揭示城镇化、退耕还林、封山育林等人文政策对土地覆被变化的影响,以为山地区域国土空间高效集约利用和区域生态系统的管理提供理论与数据参考。

1 研究方法与数据来源

1.1 研究区概况

研究区三峡库区(重庆段)地处四川盆地东南丘陵山地区(图 1),总面积约 $4.62 \times 10^4 \text{ km}^2$,占三峡库区总面积 85%,包括三峡库区的库尾和库腹地区;库尾地区由重庆中心城区(含 9 区)加长寿区、江津区共 11 区组成,库腹地区包括万州区、涪陵区、开州区、武隆区、云阳县、丰都县、忠县、奉节县、巫山县、巫溪县和石柱县共 11 个区县^[21]。研究区是长江上游重要的生态屏障地区,也是中国典型的生态脆弱区。研究区地貌类型丰富,以山地为主,其中以中起伏中山分布最广,主要分布在库腹的大巴山弧形褶皱断裂带以及川黔南北构造带,平缓地貌占比较少且多沿长江及其主要支流零散分布。研究区的海拔总体不高,1 000 m 以下低海拔区占总面积的 73.43%,坡地区域面积大、分布广。研究区内 2020 年人口约为 2 031.61 万人,其中城镇人口约为 1 086.71 万人,区域人口密度达 $440 \text{ 人} \cdot \text{km}^{-2}$,城镇化率为 53.49%。2020 年,研究区内贫困区县全部实现脱贫摘帽,贫困发生率降至 0.33%。总体而言,研究区人类活动强度大,社会经济发展迅速,土地覆被变化剧烈。



注:底图来源于重庆市标准地图服务中的“中心城区区位”(http://ghzrzyj.cq.gov.cn/dt/index.html? /vame=中心城区区位),审图号为渝S(2020)015号,下同

图 1 三峡库区(重庆段)范围

Fig. 1 Three Gorges reservoir area (Chongqing section)

1.2 数据来源与处理

文中数据来源如表 1 所示。本文运用了 2000—2020 年间时间分辨率为 5 年共 5 期的土地覆被类型和 NDVI 数据,其中土地覆被类型数据空间分辨率为 30 m,NDVI 数据空间分辨率为 500 m^[22]。本文中以一级土地覆被类型开展质变分析,即耕地、林地、草地、水域、建筑用地和未利用土地。考虑研究区内土地利用率高,未利用土地面积极小,故后续分析忽略该类型变化。地貌分类是基于 DEM 数据分别提取研究区的高程和起伏度,

参考对高程、坡度进行分级的已有研究^[23-24],再利用基于专家知识的决策树分类法对地貌类型进行再分类,分类结果如表 2 所示。

表 1 数据及数据源
Tab.1 Data and data sources

数据名称	数据来源	类型	时间分辨率/年	空间分辨率/m
NDVI	MODIS 植被指数产品	栅格	5	500
土地覆被类型	国家地球系统科学数据中心	栅格	5	30
DEM	Shuttle Radar Topography Mission	栅格	—	30

表 2 研究区地貌划分标准及占比
Tab.2 Geomorphic classification standard and its proportion inthe study area %

形态类型(起伏度)	低海拔(<1 000 m)	中海拔(1 000~3 500 m)
平原(<75 m)	1.16	—
丘陵(75~<200 m)	16.09	—
小起伏山地(200~<500 m)	40.15	11.69
中起伏山地(500~<1 000 m)	15.61	12.89
大起伏山地(1 000~2 500 m)	—	2.41

1.3 研究方法

1.3.1 土地利用转移矩阵 利用土地利用转移矩阵表达不同时期各土地覆被类型的变化情况,包含土地覆被类型的转化来源、去向及转换面积大小^[25]:

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & \cdots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & \cdots & A_{2n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ A_{n1} & A_{n2} & \cdots & A_{nn} \end{bmatrix}。$$

式中: A 为土地覆被类型的面积, n 为土地覆被类型, A_{ij} 表示一段时间内由 i 类型土地转为 j 类型土地的面积。矩阵中每一行的总和表示某一土地类型变化前该类型土地的总面积,单个行值代表该土地的转移去向及面积大小;每一列的总和代表转移后该土地类型的总面积,单个列值则代表转为该类型土地的来源及面积。

1.3.2 土地覆被变化度 表示研究时段内某种土地覆被类型在空间上面积的变化程度或 NDVI 数值的变化程度,计算公式如下^[26]:

$$R_i = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times 100\%。$$

式中: i 为具体的某一土地覆被类型; R_i 表征某一土地覆被类型的在一定时段内的质变或量变程度,取值范围大于等于 100%; U_a 和 U_b 分别表示为土地覆被类型 i 在研究时段的起始和末期的面积或 NDVI 值。

1.3.3 土地覆被质变主导度 土地覆被质变主导度是衡量区域土地覆被质变方式重要性的主要指标,目的在于探明区域所以土地覆被质变方式中的主要类型^[20]。计算公式为:

$$P_j = B_j / B \times 100\%。$$

式中: j 为第 j 类土地覆被质变类型; P_j 为第 j 类质变在区域所有质变类型中的主导度,范围为 0%~100%; B_j 是第 j 类质变方式的面积; B 为区域内所有质变面积总和。 P_j 值越大,表明第 j 类质变方式在该区域土地覆被质变中占据的主导作用越大。

2 结果分析

2.1 地貌与土地覆被分布特征

研究区地貌分布情况如图 2 所示。研究区地处四川盆地东缘平行岭谷地区,地势起伏较大,整体呈现自西

向东,由南至北逐渐升高的趋势。研究区地貌类型复杂多样,但主要表现在自西向东由平原丘陵向山地转变。

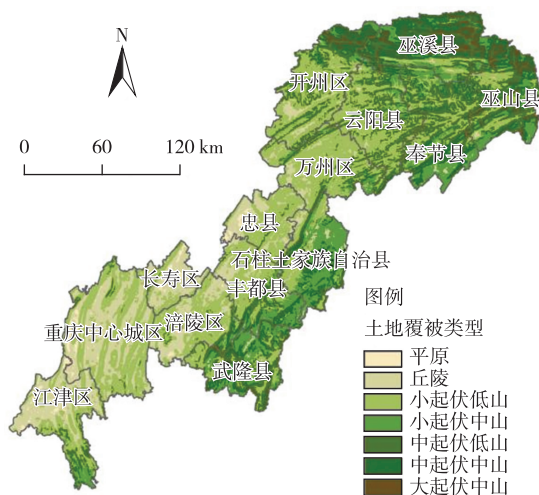


图 2 三峡库区(重庆段)地貌分布

Fig. 2 Geomorphological distribution of Three Gorges reservoir area (Chongqing section)

山地是研究区最主要地貌类型,占比达到 82.75%(表 2),主要分布在库腹(图 2),包括大巴山、七曜山、方斗山以及四面山,背斜多发育为条状山脉,向斜大多发育为中山与丘陵,与背斜共同形成明显的褶皱山地。低山地貌主要分布在方斗山以西地区,沿库区地质构造发育,背斜成山,向斜成谷,与丘陵地貌交错出现。自方斗山以东,大巴山构造带、川东皱褶带等共同构成研究区中山区域,其中巫溪县内阴条岭海拔 2 796.8 m,是重庆市最高峰。大巴山脉海拔与起伏度均为研究区内最高,部分区域形成大起伏中山。

研究区丘陵分布面积较大,集中分布在四川盆地东部、平行岭谷地区的背斜低山间槽谷地带,以单斜丘陵为主(图 2)。研究区平原面积较小,占比仅为 1.16%(表 2),主要分布在河流两岸阶地、河漫滩以及部分向斜丘陵谷地。总体而言,重庆中心城区的平原丘陵等相对平缓地貌大多已成为建设用地,其余丘陵地带因紧靠建设用地,大部分被开垦为梯田与坡耕地。

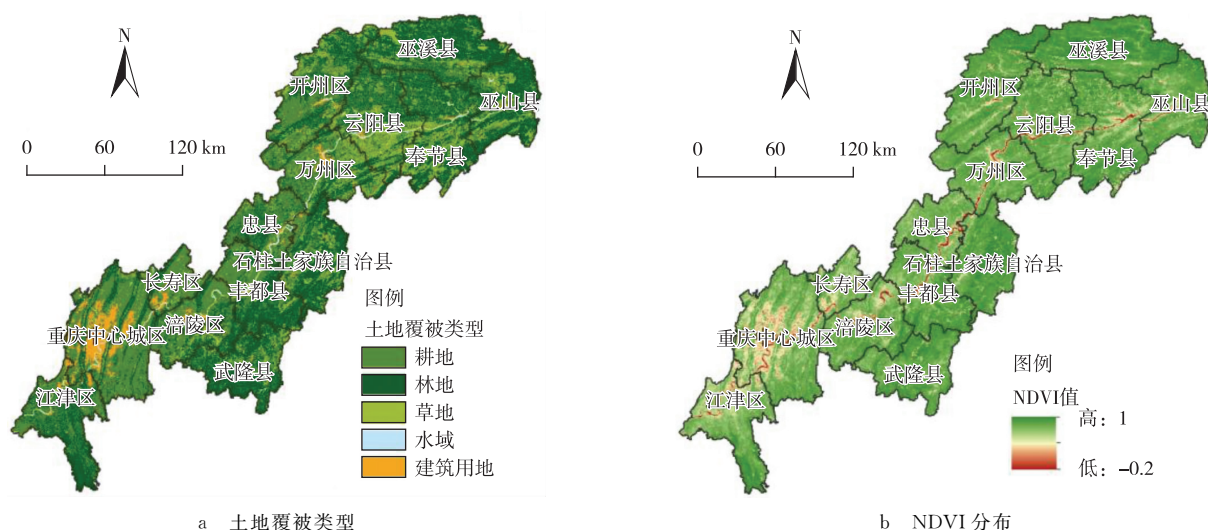


图 3 三峡库区(重庆段)2020 年土地覆被类型和 NDVI 分布

Fig. 3 Land cover types and NDVI distribution in the Three Gorges reservoir area (Chongqing section) in 2020

研究区 2020 年土地覆被类型和 NDVI 分布情况如图 3 所示。研究区土地利用强度大,耕地是最主要土地覆被类型,存在空间分布不均匀,且与社会经济发展空间重合等特点。耕地主要分布在四川盆地东部平行岭谷褶皱间的槽谷地带,以及库区主要河流两岸,原生林地已基本被开发为耕地和建设用地(图 3a)。随着社会发展,大量丘陵耕地面积逐渐减少。

如图 3a 所示,研究区林地面积仅次于耕地,主要分布在库腹山区以及褶皱山地,其中大巴山、七曜山等原生林地保护较好。重庆中心城区的四山区域(缙云山、中梁山、铜锣山、明月山)分布着大量次生林,其他丘陵与平坝地区分布着零星森林。随着退耕还林、封山育林等政策的深入实施,库区森林覆盖率增长加快。研究区草地面积较少,主要依据水热条件分布于库腹的山谷中,混杂在耕地与林地间。研究区内水系发达,水域主要沿长江干流及支流分布。

由图 3b 可知,研究区植被覆被质量较好,研究区 NDVI 年均值达 0.74,大于平均值区域占研究区总面积的 65.73%。库腹地区是植被指数高值的主要分布区域,其中阴条岭、雪宝山等国家级自然保护区年均 NDVI 值大于 0.8,说明政府对自然保护区的保护措施与成效十分明显;库尾经济发展更为发达,人类活动频繁,地表覆被多为建筑用地与耕地,植被指数相对较低。

2.2 土地覆被两个维度变化总体特征

研究期间,研究区存在极为明显的土地覆被质变(图 4)与量变(图 5)。其中,研究区土地覆被质变总面积为 5 792.55 km²,累计变化面积为 7 985.23 km²,占研究区总面积的 17.3%(表 3),同期归一化植被指数增长 0.14,增长率达 22.96%。时间上,土地覆被质变主要集中在 2015—2020 年和 2005—2010 年两个时段内,分别发生了 3 176.85 km² 和 2 630.37 km² 的质变,质变面积和占累计变化面积的 72.72%;土地覆被量变在研究期前 15 年均均为正向增长,并在 2010—2015 年段达到峰值,之后 5 年量变呈负向增长。空间上,质变主要分布在重庆中心城区、江津区、涪陵区、丰都县、武隆县及开州区(图 4);量变主要在长江干流及主要支流等水域和重庆中心城区等不透水面呈负增长,其余大部分区域的量变呈正向增长(图 5)。

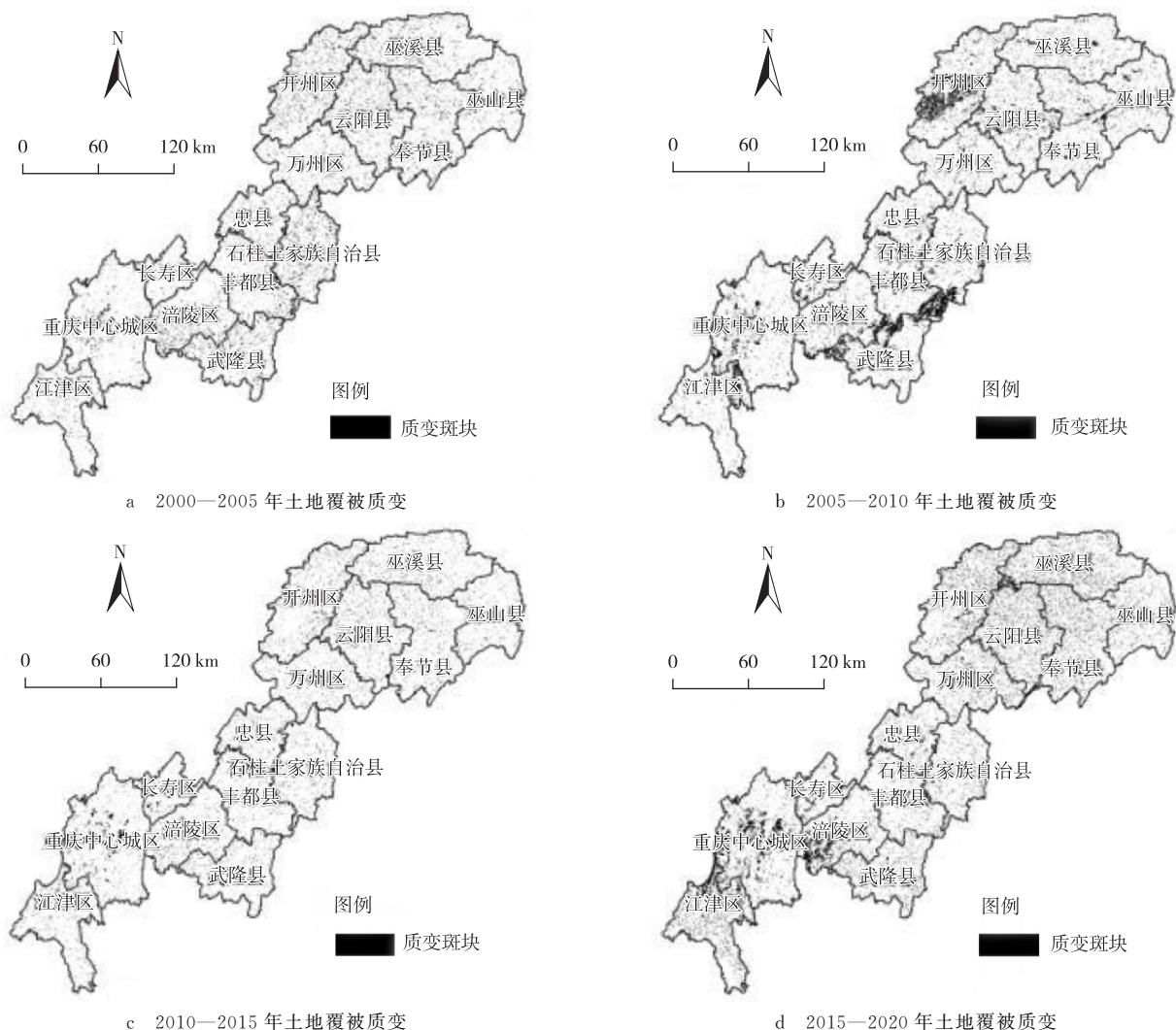


图 4 三峡库区(重庆段)土地覆被质变分布

Fig. 4 Land cover qualitative change distribution in the Three Gorges reservoir area (Chongqing Section)

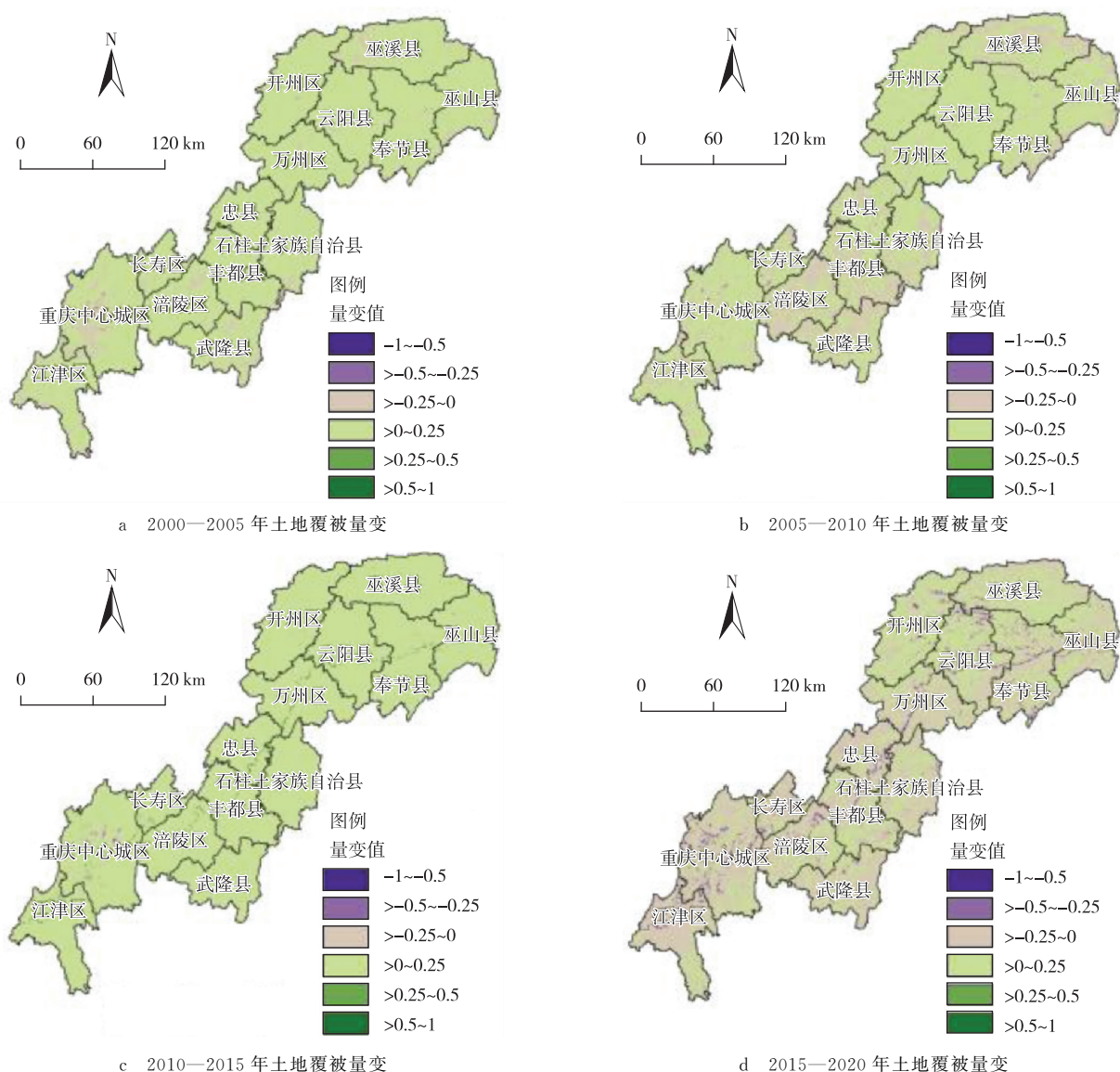


图5 三峡库区(重庆段)土地覆被量变分布

Fig. 5 The quantitative distribution of land cover in the Three Gorges reservoir area (Chongqing section)

基于表3可知,耕地转林地、草地转林地、林地转耕地、草地转耕地、耕地转建筑用地是研究区土地覆被质变最频繁的几种类型。研究期内,耕地面积持续缩减且在研究期最后5年达到峰值,但林草地对耕地面积进行大量补偿,因此耕地面积实际仅减少872.72 km²,且其中大部分流失耕地被开发成建筑用地,反映出研究区人类活动强度大,土地城镇化速率快;从时间上看,耕地在2005—2010年间存在着大量且数量相当的流入与流出,而剩余3个时段内的耕地流出明显大于流入。比对2000年和2020年土地覆被类型,研究区流失了1946.99 km²草地,其中45.88%和48.69%土地的覆被类型转变为耕地和林地,而研究仅新增448.01 km²草地,草地净流出1498.83 km²;从时间上看草地质变主要集中在2005—2010年间,期间草地流出1268.76 km²,流入207.58 km²,净流出量达1061.18 km²,占研究期草地净流出量的70.79%。建筑用地实际增长1285.57 km²,耕地是最主要的增长源,共计1135.55 km²的耕地被开发成建筑用地,而仅10.11 km²的建筑用地转为耕地;从时间上看,建筑用地在2015—2020年内增长最为明显,该时段建筑用地面积净增长596.97 km²,占建筑用地实际增长总值的46.44%。受三峡工程蓄水影响,研究区水域面积明显增加,研究期间水域实际增长269.28 km²,结合数据发现2005—2010年水域变化最为明显,与2010年三峡水库首次成功蓄水至175 m相符。土地覆被质变的质变面积及占比情况(图4、表3)发现研究区土地类型结构持续变化,质变面积大致随着时间的推移而增长,虽在2010—2015年有个明显的回落,但随后质变面积又直线上升。

表 3 2000—2020 年研究区土地利用类型转移矩阵

Tab. 3 Transfer matrix of land use types in the study area from 2000 to 2020 km²

土地类型		耕地	林地	草地	水域	建筑用地
耕地	2000—2005 年	—	426.17	142.69	21.66	91
	2005—2010 年	—	292.78	167.46	87.91	338.30
	2010—2015 年	—	201.99	72.33	13.07	203.52
	2015—2020 年	—	726.89	211.43	58.33	557.42
	2000—2020 年	—	1 008.72	338.97	152.11	1 135.55
林地	2000—2005 年	240.79	—	40.71	8.70	7.26
	2005—2010 年	310.82	—	39.14	48.62	41.67
	2010—2015 年	197.27	—	26.79	10.79	17.17
	2015—2020 年	755.35	—	85.24	19.86	57.65
	2000—2020 年	842.41	—	105.91	78.60	121.46
草地	2000—2005 年	155.90	147.11	—	3.60	2.66
	2005—2010 年	503.67	703.76	—	41.65	19.68
	2010—2015 年	71.93	26.41	—	4.39	6.87
	2015—2020 年	412.03	172.24	—	9.33	16.83
	2000—2020 年	893.28	947.95	—	57.25	48.51
水域	2000—2005 年	4.55	1.72	0.94	—	0.73
	2005—2010 年	4.42	1.19	0.44	—	2.38
	2010—2015 年	5.07	2.20	1.04	—	1.60
	2015—2020 年	22.86	9.41	5.45	—	10.80
	2000—2020 年	16.83	5.7	2.59	—	8.38
建筑用地	2000—2005 年	3.69	1.24	0.28	2.42	—
	2005—2010 年	14.14	1.64	0.54	10.16	—
	2010—2015 年	6.96	1.93	0.47	2.39	—
	2015—2020 年	28.88	6.73	3.04	7.08	—
	2000—2020 年	10.11	2.86	0.54	14.82	—

由图 5 可知,2000—2020 年研究区的植被覆盖率总体上呈上升趋势,NDVI 年均值增长率 1.15 %,表明研究区生态环境质量得到有效改善,退耕还林、生态移民等生态恢复工程效果明显。研究区 NDVI 值在研究区期 15 年呈线性增长并在 2015 年到达峰值,其中前 10 年的植被覆盖率增长较平缓,除城市扩张、库区 175 m 蓄水影响外,2010 年前后发生的特大旱灾也是导致 NDVI 增长放缓的关键因素之一,持续性的高温伏旱天气对植被生长产生了严重影响,因此 NDVI 值在部分林地和耕地等植被覆盖度较高区域明显降低^[27]。长达 15 年的正向增长后,量变在研究期最后 5 年首次出现负增长,结合表 3 可发现这一时期以建筑用地为代表的不透水面面积达到峰值。虽然生态功能较强的林地面积也明显增长,但 NDVI 值存在高端饱和问题,即当叶面积指数到达一定值后,NDVI 值就几乎不再变化^[28]。上述两个因素在一定程度上限制了研究区量变的增长方向和速率。

2.3 两个维度变化的地貌分异规律

研究区平原地貌面积较小(表 2),总面积约为 535.43 km²,其中大部分为城镇建设用地。进一步分析表 4 可知,研究区平原地貌共计 139.89 km² 土地发生了质变,占比 26.13%,主要是耕地转为建筑用地,转化面积达 110.27 km²,质变方式主导度高达 78.83%;同期平原地貌 NDVI 值增长约 0.05,远低于整个研究区平均量变值

的 0.14(图 6)。

表 4 不同地貌下的质变情况
Tab. 4 Qualitative change under different landforms

地貌	变化类型	变化面积/ km ²	质变方式主导度/%	占地貌比/%
平原	耕地→建筑用地	110.27	78.83	20.59
	其他	29.62	21.17	5.53
丘陵	耕地→建筑用地	737.58	53.29	9.93
	草地→耕地	193.44	13.98	2.60
	林地→耕地	129.09	9.33	1.74
	耕地→林地	114.53	8.27	1.54
	其他	209.41	15.13	2.82
小起伏低山	草地→耕地	463.52	21.94	2.50
	林地→耕地	388.04	18.37	2.09
	耕地→林地	351.13	16.62	1.89
	耕地→建筑用地	260.53	12.33	1.41
	其他	649.36	30.74	3.50
小起伏中山	草地→林地	334.66	48.45	6.20
	耕地→林地	168.77	24.43	3.13
	其他	187.29	27.12	3.47
中起伏低山	耕地→建筑用地	171.87	23.62	2.39
	草地→耕地	167.48	23.01	2.32
	林地→耕地	136.61	18.77	1.90
	其他	251.78	34.60	3.49
中起伏中山	草地→林地	275.22	42.88	4.63
	耕地→林地	164.31	25.60	2.76
	其他	202.24	31.51	3.40
大起伏中山	耕地→林地	30.98	36.09	2.78
	林地→耕地	16.68	19.43	1.50
	草地→林地	15.60	18.17	1.40
	耕地→草地	15.00	17.47	1.35
	其他	7.58	8.83	0.68

丘陵地貌面积为 7 426.81 km²,分布相对集中,主要位于库尾的重庆中心城区(图 2),也是研究区城市建设和农业生产的重点开发区。共计 1 384.05 km² 的丘陵地貌土地发生质变,质变发生率约为 18.64%,主要质变方式是耕地转为城市建设用地,转变面积达 737.58 km²,主导度为 53.29%(表 4)。同时,该类地貌另有 322.53 km² 的林草地被开垦成耕地。该地貌下植被指数的量变值约为 0.1(图 6)。

地理区位是决定平原、丘陵土地覆被质变的主要原因。库区平原、丘陵主要位于库尾地区,行政区划上大部分属于重庆中心城区(图 2)。重庆中心城区在城镇化建设过程中所形成的建设用地扩张是研究区建设用地增长的主要来源,同时该质变方式进一步影响平原、丘陵地貌下的土地覆被量变程度。

研究区山区分布广泛,山地地貌在很大程度上影响着人类活动范围,进而影响植被分布。研究区山地面积约 38 195.7 km²,占研究区总面积的 82.75 %,据表 4 可知,4 258.65 km² 的山地地貌土地发生了质变,占研究区质变总面积的 73.65%,是研究区质变面积最大的一类地貌类型。山地质变主要表现为林地、草地与耕地间的相互转化,林地和草地也是该地貌下面积增加和减少最多的土地覆被类型。其中,林地净增长面积达 832.72

km², 草地净流失面积达 1 244. 63 km²。耕地因同时存在退耕还林还草导致的耕地面积减小以及部分土地复垦、占补平衡等情况。所以, 该地貌情况下耕地总面积仅减少约 190. 05 km²。从量变(图 6)上来说, 山地的量变值高于研究区均值, 是研究区 NDVI 增长的主要原因。

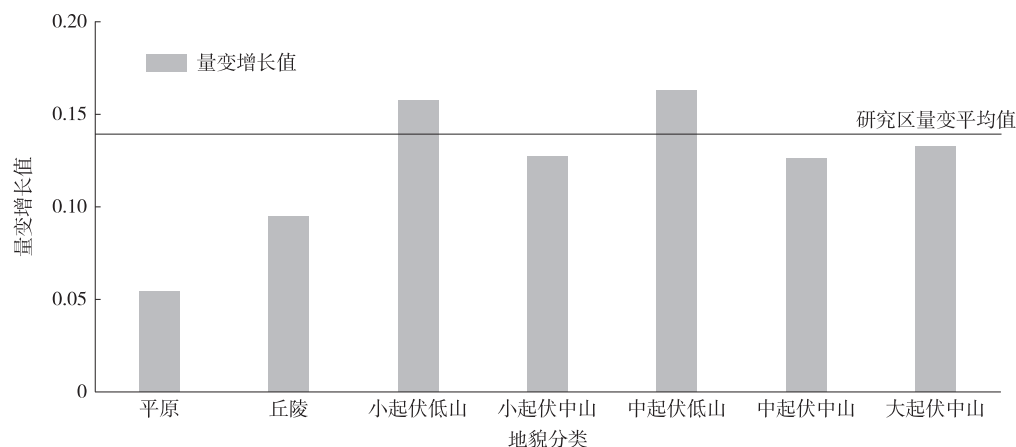


图 6 量变的地貌分异

Fig. 6 Geomorphic differentiation of NDVI changes

进一步结合起伏度与海拔将山地细分为 5 种类型, 分别为小起伏低山、小起伏中山、中起伏低山、中起伏中山与大起伏中山。大起伏中山集中分布在库腹大巴山弧形断褶带的南缘部分, 包括巫溪县、巫山县大部地区(图 2), 社会经济发展相对滞后, 人口密度低, 人类活动较弱, 土地覆被两个维度的变化均较为稳定, 仅有 85. 84 km² 的土地覆被发生了质变, 质变发生率不足 8%, 且 50% 以上是耕地转为自然林草地(表 4)。但受 NDVI 峰值影响, 大起伏中山量变增长值略低于研究区平均水平。

研究区海拔由西向东逐渐变高, 山地土地覆被变化表现出极明显的垂直差异性特征。研究区平原、丘陵毗邻的低海拔山地区域存在明显的土地覆被质变(图 4), 质变方式主要为林草转耕地, 其中草地转耕地、林地转耕地面积分别为 631 km² 和 524. 65 km²(表 4), 此外, 该低山地貌下还有 432. 4 km² 的耕地被开发成建筑用地; 低山地貌下植被的量变值明显高于研究区平均值, 并在中起伏低山达到峰值, 量变增长值大于 0. 16(图 6)。中海拔山地的土地覆被质变主要发生在低植被覆盖的草地和耕地演替为高植被覆盖的林地, 质变的同时 NDVI 也存在明显增长。总之, 随着海拔的增加, 研究区的量变增长值先升高后降低; 结合起伏度观察, 研究区山地两个维度的变化与起伏度相关性并不明显。

总体而言, 研究区土地覆被质变与量变存在明显的地貌差异性。低海拔平原、丘陵已大量被开发为城镇建设用地, 周边毗邻地区大多也转为建筑用地(图 3a)。低海拔山地土地覆被质变的主导方式是稀疏林、草地被开垦为耕地, 而在相对高海拔的中山地带土地覆被类型主要向林地演替(表 4)。研究区土地覆被量变在不同地貌下均呈正向增长, 量变值在低海拔的平原丘陵受到质变方式的绝对影响, 而山地地貌下土地覆被量变规律表现出一定的垂直地带性即量变随着海拔的增高而减弱。质变强烈区域土地覆被量变上升明显, 然而山地的自然林量变较弱, 同时受海拔的影响 NDVI 增长值较低。

2. 4 土地覆被变化驱动力分析

地貌对人类活动存在明显的筛选作用, 在宏观上控制着土地覆被两个维度变化的发生与发展。研究区地少人多, 人地矛盾尖锐, 2000 年重庆开启首批外迁移民, 尤其是三峡水库自 2003 年开始蓄水, 到 2010 年首次达到 175 m 正常蓄水位, 研究区土地覆被由于水库蓄水、城镇建设等影响呈现较为明显的时序变化特征。由此, 本文结合研究区城镇化、退耕还林、封山育林等土地覆被变化的宏观影响因素进行简要分析。

研究期第一阶段(2000—2005 年), 研究区土地覆被质变总面积为 1 303. 82 km², 量变平均增长值为 0. 04。由于正值三峡库区完成二期并开启三期移民工程, 即三峡水库完成 135 m 蓄水并向 156 m 过渡, 这导致三峡库区部分坡耕地被水体淹没质变为水域^[6]。天保工程和退耕还林等政策的实施促使大量耕地转化为林地^[29]。此外, 受移民迁建和城镇化建设的影响, 建筑用地面积明显增加, 是耕地减少的原因之一^[8, 10]。

研究期第二阶段(2005—2010 年), 研究区土地覆被质变持续加剧(2 630. 37 km²), 但同期量变增长值也较

低。在此阶段,三峡水库实现了从 139 m 至 175 m 蓄水目标,这几年来三峡水库蓄水和移民迁建工程所影响的区域和人口较 2000—2005 年更加广泛,也直接导致建筑用地和水域大量增加^[30],是整个研究期内增长最大的一个阶段。这一时期,受退耕还林还草影响,虽有大量的耕地和草地转化为林地^[28],但区域 NDVI 平均值增长并不明显,主要原因是大量的城镇用地和水域的扩张会在一定程度上削弱林地对 NDVI 的正向影响^[31]。

研究期第三阶段(2010—2015 年),研究区土地覆被质变大幅减缓(874.19 km²),而量变增长值达到顶峰。自 2010 年始,三峡水库成功蓄水至 175 m,标志着三峡水利工程基本完成,对土地覆被质变方面影响也基本稳定,但随着社会经济发展,仍需大量耕地进行城镇化建设^[32]。另一方面,自加强生态文明建设以来,重庆市率先出台《关于加快推进生态文明建设的意见》,加大对生态文明建设力度,此外,《长江流域防护林体系建设三期工程规划(2011—2020 年)》等政策规划的相继实施极大地改善了库区的生态环境,并体现在土地覆被量变上^[8]。

研究期第四阶段(2015—2020 年),研究区土地覆被质变达到峰值(3 176.85 km²),而同期量变却首次出现负增长。前一阶段研究区土地覆被质变趋于稳定,但随着社会经济发展,尤其是习近平总书记在重庆召开的推动长江经济带发展座谈会上发表重要讲话后,重庆市在经济建设和生态文明保护方面被赋予了新的要求即“两点”定位、“两地”“两高”目标。这些战略和定位在土地覆被上主要表现为建筑用地的扩张和 NDVI 的增长,但由于建筑用地扩张过多加上 NDVI 峰值影响^[28],本研究最后时段研究区 NDVI 平均值虽依然保持在高值区域,却较上期数据略有下降。

3 结论与讨论

3.1 结论

土地覆被变化是一项复杂的地理过程,受到全球变化与人类活动等要素的多重影响,变化过程既存在类型间的转移,还包含同种类型的密度变化即土地覆被的质变与量变。本文以三峡库区(重庆段)为例,基于多期 NDVI 和土地覆被类型数据,分析土地覆被变化和政策影响的地貌分异特征,得到以下结论:

1) 2000—2020 年间,研究区土地覆被在质变与量变上均产生了极大的变化。质变累计面积为 7 985.23 km²,占研究区总面积的 17.3%,NDVI 呈现增长趋势,量变值达 0.14,增长率为 22.96%。质变与量变时空上不同步,2015—2020 年时段质变面积最大,而量变在 2010—2015 年时段增长最多。耕地面积持续缩减,林地面积明显增长。质变程度整体上呈上升趋势,且突出表现为城市的扩张和草地的演替;量变在研究区中部区县增长最明显。

2) 研究区土地覆被变化受地貌影响大,存在明显的地貌分异特征。研究区内自西向东由平原丘陵向山地转变,起伏度与海拔逐渐升高。槽谷地带的平原与丘陵质变突出表现为城镇用地的扩张,量变值整体低于研究区均值。土地覆被质变主要发生在山地,表现为林地、草地与耕地间的相互转化,量变值在中起伏低山达到峰值,而在平原地带最小。

3) 研究区质变存在明显的垂直差异性特征,质变强度随海拔的升高而逐渐降低。量变在平原丘陵地貌主要受到质变方式影响,虽然山地地貌的量变也随着海拔的增高而减弱,但主要受土地覆被类型影响,与质变方式关联不大。

4) 人类的社会经济活动以及政策制定等宏观因素极大地影响土地覆被变化。2000—2005 年,受移民迁建、退耕还林工程政策影响,大量耕地转为林地和建设用地。2005—2010 年,随着三峡工程和城镇化的深入,库区质变达到顶峰。2010—2015 年,研究区土地覆被质变趋于稳定,生态文明建设力度的加大直接体现在库区量变的正向增长上。2015—2020 年,受高质量发展的新发展理论影响,研究区土地覆被质变加剧并主要表现在建设用地的增加,结合 NDVI 峰值影响,虽然土地覆被量变呈负向增长,但植被覆盖度依旧维持较高水平。

3.2 讨论

本文的特色在于分析了研究区不同地貌类型单元的土地覆被质变与量变情况,探讨 2000—2020 年间不同地貌条件下质变与量变的分异规律及动态变化特征,研究结果与研究区实际情况基本相符,有助于更加全面地认识库区国土空间变化及演变规律,可为区域经济发展和生态保护相协调提供一定的科学参考。

然而,研究区地表破碎,土地覆被数据中存在的混合像元问题导致本文的研究结果仍然存在一定的不确定性。在当前时空数据分辨率不断提升的背景下,后续研究可结合时空分辨率更高、更精确的数据,并考虑更多的自然、人文要素,深入探究研究区土地覆被两个维度的时空变化特征及原因,以得到更加准确以及精细化的

结果。

参考文献:

- [1] 薄广涛,牛志君,郭义强,等.冀西北间山盆地土地利用变化地形梯度效应:以河北省怀来县为例[J].水土保持研究,2017,24(1):226-231.
BO G T, NIU Z J, GUO Y Q, et al. Effect of terrain gradient on land use change in basin of mountains typical district in Northwestern Hebei; a case study in Huailai county[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2017, 24(1): 226-231.
- [2] 刘昌明,郑度,崔鹏,等.自然地理学创新发展与展望[J].地理学报,2020,75(12):2547-2569.
LIU C M, ZHENG D, CUI P, et al. Innovative development and prospect of physical geography[J]. Acta Geographica Sinica, 2020, 75(12): 2547-2569.
- [3] 马勇刚,黄粤,陈曦.质变和量变两种维度下新疆山区土地覆盖变化分析[J].山地学报,2018,36(1):34-42.
MA Y G, HUANG Y, CHEN X. Land cover change of mountainous regions in Xinjiang in view of qualitative and quantitative [J]. Mountain Research, 2018, 36(1): 34-42.
- [4] 胡锦涛.坚定不移沿着中国特色社会主义道路前进为全面建成小康社会而奋斗[N].人民日报,2012-11-18(001).
HU J T. Unswervingly advance along the road of socialism with Chinese characteristics and strive for building a moderately prosperous society in an all-round way[N]. People's Daily, 2012-11-18(001).
- [5] 唐常春,李亚平.多中心城市群土地利用/覆被变化地学信息图谱研究:以长株潭城市群为例[J].地理研究,2020,39(11):2626-2641.
TANG C C, LI Y P. Geo-information Tupu process of land use/cover change in polycentric urban agglomeration: a case study of Changsha-Zhuzhou-Xiangtan urban agglomeration[J]. Geographical Research, 2020, 39(11): 2626-2641.
- [6] 邵景安,张仕超,魏朝富.基于大型水利工程建设阶段的三峡库区土地利用变化遥感分析[J].地理研究,2013,32(12):2189-2203.
SHAO J A, ZHANG S C, WEI C F. Remote sensing analysis of land use change in the Three Gorges reservoir area, based on the construction phase of large-scale water conservancy project[J]. Geographical Research, 2013, 32(12): 2189-2203.
- [7] 周李磊,杨华,刘睿.三峡库区(重庆段)生态足迹研究综述[J].重庆师范大学学报(自然科学版),2016,33(2):49-56.
ZHOU L L, YANG H, LIU R. Review of ecological footprint on the Three Gorges reservoir area (Chongqing Section) [J]. Journal of Chongqing Normal University (Natural Science), 2016, 33(2): 49-56.
- [8] 熊杰,曾源,朱亮,等.近 25 年三峡库区土地覆被变化及驱动力分析[J].长江流域资源与环境,2018,27(10):2368-2378.
XIONG J, ZHEN Y, ZHU L, et al. Land cover changes and drivers in the Three Gorges reservoir area during 1990—2015[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2018, 27(10): 2368-2378.
- [9] 范月娇,江晓波.空间信息技术支持下的三峡库区土地利用时空变化分析[J].资源科学,2002(5):75-80.
FAN Y J, JIANG X B. Spatial-temporal variation of land use in Three Gorges' project area based on space information technologies[J]. Resources Science, 2002(5): 75-80.
- [10] 黄春波,滕明君,曾立雄,等.长江三峡库区土地利用/覆盖的长期变化.应用生态学报,2018,29(5):1585-1596.
HUANG C B, TENG M J, ZENG L X, et al. Long-term changes of land use/cover in the Three Gorges reservoir area of the Yangtze River, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2018, 29(5): 1585-1596.
- [11] XIONG Y, ZHOU J Z, CHEN L, et al. Land use pattern and vegetation cover dynamics in the Three Gorges reservoir (TGR) intervening basin[J]. Water, 2020, 12(7): 2036.
- [12] 郝斌飞,杨洪,马明国,等.基于 Google Earth Engine 的三峡库区土地利用与陆表参数变化研究[J].长江流域资源与环境,2020,29(6):1343-1355.
HAO B F, YANG H, MA M G, et al. Variation in land use and land surface parameters in the Three Gorges reservoir catchment based on Google Earth Engine[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2020, 29(6): 1343-1355.
- [13] 后立胜,蔡运龙.土地利用/覆被变化研究的实质分析与进展评述[J].地理科学进展,2004(6):96-104.
HOU L S, CAI Y L. An essential analysis and review on land use/cover change research[J]. Progress in Geography, 2004(6): 96-104.
- [14] PENG L, LIU S Q, SUN L. Spatial-temporal changes of rurality driven by urbanization and industrialization: a case study of the Three Gorges reservoir area in Chongqing, China[J]. Habitat International, 2016, 51: 124-132.
- [15] 邵怀勇,仙巍,杨武年,等.三峡库区近 50 年间土地利用/覆被变化[J].应用生态学报,2008(2):453-458.
SHAO H Y, XIAN W, YANG W N, et al. Land use/cover change during lately 50 years in The Gorges reservoir area[J].

- Chinese Journal of Applied Ecology, 2008(2):453-458.
- [16] 江晓波, 马泽忠, 曾文蓉, 等. 三峡地区土地利用/土地覆被变化及其驱动力分析[J]. 水土保持学报, 2004(4):108-112.
JIANG X B, MA Z Z, ZENG W R, et al. Land-use/cover change process and driving force analysis in Three Gorges area[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2004(4):108-112.
- [17] 张磊, 董立新, 吴炳方, 等. 三峡水库建设前后库区 10 年土地覆盖变化[J]. 长江流域资源与环境, 2007(1):107-112.
ZHANG L, DONG L X, WU B F, et al. Land cover change before and after the construction of Three Gorges reservoir within 10 years[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2007(1):107-112.
- [18] 左丽媛, 高江波. 基于地理探测器的喀斯特植被 NPP 定量归因[J]. 生态环境学报, 2020, 29(4):686-694.
ZUO L Y, GAO J B. Quantitative attribution analysis of NPP in karst peak cluster depression based on geographical detector[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2020, 29(4):686-694.
- [19] 程维明, 周成虎, 申元村, 等. 中国近 40 年来地貌学研究的回顾与展望[J]. 地理学报, 2017, 72(5):755-775.
CHENG W M, ZOU C H, SHEN Y C, et al. Retrospect and perspective of geomorphology researchs in China over the past 40 years[J]. Acta Geographica Sinica, 2017, 72(5):755-775.
- [20] 赵敏, 程维明, 黄坤, 等. 基于地貌类型单元的京津冀近 10a 土地覆被变化研究[J]. 自然资源学报, 2016, 31(2):252-264.
ZHAO M, CHENG W M, HUANG K, et al. Research on land cover change in Beijing-Tianjin-Hebei region during the last 10 years based on different geomorphic units[J]. Journal of Natural Resources, 2016, 31(2):252-264.
- [21] 黄磊, 吴传清, 文传浩. 三峡库区环境:经济—社会复合生态系统耦合协调发展研究[J]. 西部论坛, 2017, 27(4):83-92.
HUANG L, WU C Q, WEN C H. Coupling and coordinated development of the Three Gorges reservoir area's compound ecological system of environment, economy and society[J]. West Forum, 2017, 27(4):83-92.
- [22] 柴旭荣, 李明, 周义, 等. 影像的土地覆被快速分类[J]. 遥感技术与应用, 2020, 35(2):315-325.
CAI X R, LI M, ZHOU Y, et al. Rapid land cover classification using landsat time series based on the Google Earth Engine[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2020, 35(2):315-325.
- [23] 李月臣, 刘春霞, 赵纯勇, 等. 三峡库区重庆段水土流失的时空格局特征[J]. 地理学报, 2008(5):475-486.
LI Y C, LIU C X, ZHAO C Y, et al. Spatiotemporal features of soil and water loss in the Three Gorges reservoir area of Chongqing[J]. Acta Geographica Sinica, 2008(5):475-486.
- [24] 陈艳英, 游扬声, 唐云辉等. 重庆市植被指数与高度/坡度的关系研究[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2016, 41(11):122-129.
CHEN Y Y, YOU Y S, TANG Y H, et al. On relationship between vegetation index and height/slope in Chongqing[J]. Journal of Southwest China Normal University (Natural Science Edition), 2016, 41(11):122-129.
- [25] 李玉, 牛路, 赵泉华. 抚顺矿区 1989—2019 年土地利用/覆盖变化分析[J]. 测绘科学, 2021, 46(8):96-104.
LI Y, NIU L, ZHAO Q H. Analysis of land use/cover change in Fushun mining area from 1989 to 2019[J]. Science of Surveying and Mapping, 2021, 46(8):96-104.
- [26] 刘婉如, 陈春波, 罗格平, 等. 巴尔喀什湖流域土地利用/覆被变化过程与趋势[J]. 干旱区研究, 2021, 38(5):1452-1463.
LIU W R, CHENG C B, LUO G P, et al. Change processes and trends of land use/cover in the Balkhash lake basin[J]. Arid Zone Research, 2021, 38(5):1452-1463.
- [27] LAI P Y, ZHANG M, GE Z X, et al. Responses of seasonal indicators to extreme droughts in Southwest China[J]. Remote Sensing, 2020, 12(5):818.
- [28] 宋扬, 房世波, 梁瀚月, 等. 基于 MODIS 数据的农业干旱遥感指数对比和应用[J]. 国土资源遥感, 2017, 29(2):215-220.
SONG Y, FANG S B, LIANG H Y, et al. Comparison and application of agricultural drought indexes based on MODIS data[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2017, 29(2):215-220.
- [29] 陶蕴之, 吕一河, 李凤全, 等. 西南天然林保护工程区生态成效评估[J]. 生态与农村环境学报, 2016, 32(5):716-723.
TAO Y Z, LÜ Y H, LI F Q, et al. Assessment of ecological effect of the natural forest protection project in Southwest China[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2016, 32(5):716-723.
- [30] 王金亮. 三峡库区土地利用信息提取与动态变化分析[D]. 重庆:重庆师范大学, 2013.
WANG J L. The extraction and dynamic changes of land use information in the Three Gorges reservoir area[D]. Chongqing: Chongqing Normal University, 2013.
- [31] 刘家. 城市化和土地利用/覆盖变化对 DTR 的影响研究[D]. 北京:中国矿业大学, 2018.
LIU J. Study on the impact of urbanization and land use/cover change on DTR[D]. Beijing: China University of Mining and Technology, 2018.

- [32] 谭少军,邵景安,邓华,等. 三峡库区土地利用驱动力评价及机制分析[J]. 中国农业资源与区划,2017,38(11):122-129.
TAN S J,SHAO J A,DENG H,et al. Assessment of land use driving force and mechanism in Three Gorges reservoir area[J]. Chinese Journal of Agricultural Resource and Regional Planning,2017,38(11):122-129.

Resources, Environment and Ecology in Three Gorges Area

Geomorphologic Differentiation Characteristics of Qualitative and Quantitative Change of Land Cover in the Three Gorges Reservoir Area (Chongqing Section)

DAI Peng^{1,2}, XIAO Zuoling^{1,2}, LIU Rui^{1,2,3}, ZHOU Yongwei^{1,2}

(1. Key Laboratory of GIS Application, Chongqing Normal University;

2. School of Geography and Tourism, Chongqing Normal University, Chongqing 401331;

3. Chongqing Comprehensive Economic Research Institute, Chongqing 401147, China)

Abstract: [Purposes] Taking the Three Gorges Reservoir Area (Chongqing section) as the study area, it analyzed the qualitative and quantitative changes of land cover in the region from 2000 to 2020, explored the differentiation characteristics and evolution rules of land cover with geomorphology under the background of complex man-land relationship in mountainous areas, and analyzed the influencing factors of land cover change. It provides theoretical and data reference for efficient and intensive utilization of land space and management of regional ecosystem in mountainous region. [Methods] Based on five periods of land cover data and NDVI data, land use transfer matrix, land cover change degree and other methods were used to draw regional statistics and interactive tabulation to quantitatively obtain the geomorphic differentiation characteristics of qualitative and quantitative land cover change from 2000 to 2015. [Findings] 1) Over 17.3% of the land space in the study area underwent qualitative change, and the value of quantitative change of NDVI was 0.14, with a growth rate of 22.96%. 2) There is obvious vertical difference in qualitative change, and the intensity of qualitative change decreases with the increase of altitude. The quantitative change is mainly affected by the qualitative change pattern in plain hill landform, while the quantitative change pattern in mountain landform decreases with the increase of altitude and is negatively correlated with the qualitative change pattern. 3) The qualitative change degree of land cover in the study area corresponds to the construction process of the Three Gorges Project. In the post-Three Gorges Project period, in order to coordinate with relevant ecological policies and strategic objectives, the qualitative change of land cover in the study area is intensified, but NDVI remains at a high level. [Conclusions] Land cover in the Three Gorges Reservoir area (Chongqing Section) has changed significantly in both dimensions, and there are significant differences in the impact of landform on the change of the two dimensions. The direction and degree of land cover change are greatly influenced by human social and economic activities and policy making.

Keywords: Three Gorges reservoir area; Chongqing; land cover; geomorphic differentiation law; qualitative change; quantitative change

(责任编辑 黄 颖)